

# Uso de Análisis Factorial

*Conceptos básicos. Dimensiones del desempeño del trabajo. Exactitud en la estimación de costos. Factores críticos en la gestión del conocimiento. Medidas de efectividad de un proyecto de construcción.*

## Conceptos básicos

### Referencia

Brian Habing (University of South Carolina, USA). *Exploratory Factor Analysis*. October 15, 2003.

### Alcances

Para su uso en problemas de ingeniería civil, el *análisis factorial* se entiende como una técnica que permite reducir un conjunto de *variables* (como características asociadas a un cierto elemento, fenómeno o individuo) a un número de *factores* representativos. En donde obviamente, el número de estos factores es inferior al número de las variables.

Se requieren de dos condiciones para que el uso de esta técnica sea útil. La primera, es que el elemento o fenómeno pueda ser descrito con un número reducido de factores. La segunda, que tales factores puedan ser interpretados, y mejor si esta interpretación es sencilla. O también expresado, que las condiciones sean de *reducción e interpretación*. La reducción implica también el reconocimiento de *errores*.

### Tipos de análisis factorial

Se denomina como un *análisis factorial exploratorio*, cuando no se conocen los factores, y justamente se hace el análisis para encontrarlos. También, se denomina un *análisis factorial comprobatorio*, cuando se asume a priori un conjunto de factores, y el análisis sirve de verificación.

### Diagrama de ruta

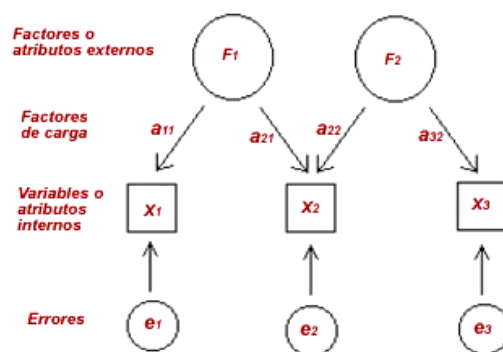


DIAGRAMA DE RUTA PARA TRES VARIABLES Y DOS FACTORES

Lo descrito se ilustra con el diagrama de ruta, el cual incorpora la simbología que suele emplearse en el análisis factorial. Se trata de  $m = 2$  factores  $F$ , de  $p = 3$  variables  $X$ , de  $m \times p = 6$  **factores de carga**,  $a_{ij}$  (donde, en la figura,  $a_{12} = a_{31} = 0$ ). Y de  $p$  errores  $e$ .

Los factores de carga, también llamados **cargas factoriales**, pueden tener como máximo valor a la unidad.

## El modelo

El modelo estandarizado se expresa en la forma:

$$X_1 = a_{11}F_1 + \dots + a_{1m}F_m + e_1$$

$$X_2 = a_{21}F_1 + \dots + a_{2m}F_m + e_2$$

...

$$X_p = a_{p1}F_1 + \dots + a_{pm}F_m + e_p$$

En esta representación se asume que los factores  $F$  y los errores  $e$  son independientes entre sí, y entre ellos. Sin embargo, las variables  $X$  están relacionadas entre sí.

## Pasos en el análisis factorial

Una vez que se han seleccionado las variables, y se han efectuado las mediciones correspondientes, dos son los pasos esenciales en el análisis factorial:

- La matriz de correlaciones entre las variables.
- La extracción de los factores representativos necesarios.

Adicionalmente, también se reconocen actividades o pasos de **rotación** para tener una representación gráfica apropiada de los resultados, así como el cálculo de las ponderaciones que aplicadas a los factores conducen a las variables.

## La matriz de correlaciones

Las mediciones deben permitir encontrar correlaciones entre las variables (esto es, se reconoce que hay algo en común entre las variables, lo cual permite encontrar un número menor de factores). Esta matriz  $R$ , de magnitud  $p \times p$ , tiene el formato siguiente, para seis variables por ejemplo.

$$\begin{bmatrix} 1.00 & & & & & \\ 0.78 & 1.00 & & & & \\ 0.65 & 0.88 & 1.00 & & & \\ 0.08 & 0.03 & 0.11 & 1.00 & & \\ 0.11 & 0.06 & 0.10 & 0.55 & 1.00 & \\ 0.07 & 0.15 & 0.06 & 0.65 & 0.52 & 1.00 \end{bmatrix}$$

Se dispone de herramientas para verificar la idoneidad de estas correlaciones. Los grupos de correlaciones altas, están indicando que hay manifestaciones comunes entre tales variables. Valores del determinante cercanos a 1 o a 0, provocarán dificultades al análisis factorial.

## Error y comunalía

Un punto crítico en el análisis factorial lo constituyen los errores,  $e$ . De acuerdo a la condición de independencia de  $F$  y  $e$ , según es asumido, es posible demostrar las siguientes relaciones entre la matriz  $X = \{X_i\}$  de magnitud  $p \times 1$ , la matriz  $A = [a_{ij}]$  de magnitud  $p \times m$ , la matriz  $F = \{F_j\}$  de magnitud  $m \times 1$ , y la matriz  $e = \{e_j\}$  de magnitud  $p \times 1$ .

De un lado:

$$X = A F + e$$

De ahí, es posible demostrar que

$$R = A A^T + \text{cov}(e)$$

Siendo independientes los elementos de  $e$ , su covarianza es una matriz diagonal  $p \times p$ . También se encuentra que:

$$\text{Var}(X_i) = \sum_{j=1}^m a_{ij}^2 + \text{Var}(e_i) = C_i^2 + \text{Var}(e_i)$$

El valor de  $C_i^2$ , como la suma de los cuadrados de los factores de carga de  $X_i$ , se conoce como **comunalía** (en textos, también se ha traducido del inglés *communality*, como *comunalidad*). Obsérvese que el máximo valor que puede alcanzar es la unidad. Es entendida como la varianza que  $X_i$  tiene en común con las otras variables. Mientras que  $\text{Var}(e_i)$  es la varianza específica para la variable  $i$ .

### Tipo de análisis

Los diferentes tipos de análisis que conducen al cálculo y selección de los factores, tienen que ver con la estimación de la *comunalía* inicial. Aunque existen varios métodos, son dos los más difundidos.

#### ◆ Método de los componentes principales

Aquí se asume que las comunalías son inicialmente iguales a 1. La tarea es encontrar los *valores características* o *eigenvalores* o *valores propios*. De éstos, los que tienen valores positivos, determinan el número de factores que serán extraídos.

#### ◆ Método de análisis de factores

Las comunalías no son asumidas como la unidad. Se adoptan inicialmente a partir de varias reglas, considerando por ejemplo, la correlación entre varias variables, o el cuadrado de coeficientes de relaciones múltiples. Se continúa con el cálculo de valores propios para extraer los factores. Los procedimientos aceptan varias iteraciones.

### Número de factores a retener

Aunque el número está determinado por el número de valores propios positivos, se recomienda no tomar en cuenta valores cercanos a 0. Adicionalmente, se puede reducir aún más el número considerando los factores que conduzcan a una sumatoria de varianzas entre el 70 al 80% del total. Una gráfica ayudará a refinar esta selección.

### Interpretación

Al reducirse las variables en nuevos y menos factores, no siempre es posible interpretar el significado de éstos. Existen varios métodos de rotación y representación gráfica que facilitan esta interpretación.

## Dimensiones del desempeño del trabajo

### Referencia

Eddie W. L. Cheng (Queensland University of Technology, Australia), Heng Li (The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong), and Paul Foz (The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong). *Job Performance*

*Dimensions for Improving Final Project Outcomes*. Journal of Construction Engineering and Management. Vol 133, N° 18, August 1, 2007. ASCE, USA.

Este estudio examina los efectos del desempeño del trabajo en el desempeño del proyecto. Utilizando un análisis factorial exploratorio, las categorías (que agrupan varias dimensiones) del desempeño del trabajo, se redujeron a cuatro: *tarea*, *comportamiento*, *gestión* y *personalidad*. Se presenta una relación entre las cuatro categorías (como variables independientes) y el desempeño total del proyecto (como variable dependiente). El modelo es probado con un análisis de ruta. Los resultados indican que la categoría *tarea*, que comprende nueve dimensiones, está significativamente relacionada con los resultados finales del proyecto. Esto implica que para el éxito de un proyecto, la empresa debe considerar que los trabajadores estén equipados con los atributos propios de este factor, como son: responsabilidad, calidad del trabajo, capacidad, conocimiento del trabajo, experiencia, eficiencia, exactitud, juicio e iniciativa.

## Introducción

Las diferencias entre lo que se espera del proyecto y lo finalmente logrado están influenciadas por características como: el desempeño del trabajo, la complejidad del proyecto, equipos y materiales, técnicas, y herramientas, entre otros.

El desempeño del trabajo es considerado como sustancial, tanto en términos individuales como para la organización. La naturaleza fragmentada de los proyectos de construcción obliga a los trabajadores a jugar un papel importante en la comunicación, coordinación, solución de problemas, y cooperación en el grupo del proyecto. Pese a ello, a juicio de los autores, la evaluación del trabajo no es práctica usual en las empresas de construcción.

Tampoco el *desempeño del trabajo* es un tema que se estudie mucho, ni menos en relación con los resultados finales del proyecto. Los estudios presentan varios componentes de este desempeño y buscan reducirlos a pocas categorías.

Respecto al *desempeño del proyecto*, su evaluación ha sido estudiada principalmente a través de la programación, los costos y la calidad. También se han usado otras medidas como la seguridad, la organización, la asociación, y el liderazgo.

Es propósito de este estudio se dirige a examinar varios aspectos del desempeño del trabajo y su relación con el desempeño del proyecto. Los objetivos:

- De varias dimensiones del desempeño del trabajo, extraer un número menor de categorías.
- Examinar los efectos de estas categorías en el desempeño total del proyecto.
- Determinar las dimensiones cruciales del desempeño de trabajo para mejorar los resultados finales del proyecto.

## Método de la investigación

El desempeño del trabajo es un término multifacético que involucra múltiples variables. El comienzo fue consultar a expertos en construcción para que identifiquen un conjunto de variables concretas tanto para el desempeño del trabajo como para el desempeño del proyecto. Ello permitió concretar 24 dimensiones para el trabajo y cuatro criterios para el proyecto. Hubo una prueba piloto para clarificar y refinar el cuestionario. La indagación ayudó a precisar el significado de varias denominaciones (por

ejemplo, la capacidad es definida como las habilidades de análisis sobre el conocimiento de una tarea). Fue usada una escala de 5 puntos (1 para *no importante*, y 5 para el *más importante*). El cuestionario final consistió en tres partes: una relativa al perfil de los consultados, otra para los instrumentos del desempeño del trabajo, y otra para el desempeño del proyecto. Se adjuntó una nota de explicación. Los consultados incluyeron a clientes, contratistas, consultores y subcontratistas. De las 137 respuestas, fueron retiradas siete por contener datos incompletos. Se adoptó una desviación estándar de 3.0, lo cual condujo a desestimar dos respuestas más. Finalmente 128 respuestas fueron utilizadas para el análisis.

Respecto a los perfiles demográficos se obtuvo lo siguiente. 82% de hombres. 57% entre 25 a 34 años. 18.8% entre 35 a 44 años.

Respecto a la procedencia. 82% no ocupaba una posición gerencial.

Entre las organizaciones de origen. 62.5% fueron contratistas. 16.4%, clientes. 10.9%, consultores. 10.2%, subcontratistas.

De las 128 respuestas, 43% provinieron de organizaciones muy grandes (más de mil trabajadores), 28.1% de pequeñas (menos de 100 trabajadores), 22.7%, de medianas (100 a 500 trabajadores), y 6.3% a grandes organizaciones (500 a 1000 trabajadores).

## Desempeño del trabajo

Se efectuó un análisis factorial exploratorio de 25 ítems, usando el método de los componentes principales, y se empleó posteriormente una rotación. Ello produjo cuatro eigenvalores con valores mayores de la unidad y cubriendo el 63.4% de la varianza común. Después del cuarto componente, las contribuciones fueron relativamente bajas.

Los factores, los ítems o variables consideradas, así como los factores de carga, resultaron los siguientes.

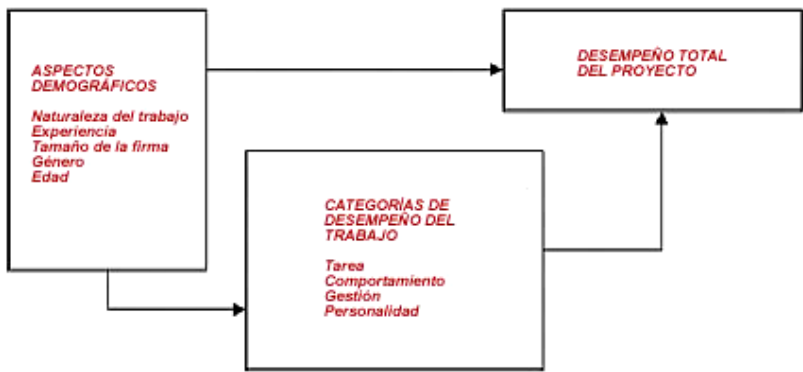
Factores, carga y variables para el desempeño del trabajo		
Factor	Carga	Variable
<b>Tarea</b> (asociado a cualidades para completar una tarea)	0.80	Conocimiento.
	0.79	Calidad del trabajo.
	0.73	Capacidad.
	0.63	Juicio.
	0.61	Experiencia.
	0.60	Exactitud.
	0.59	Responsabilidad.
	0.53	Eficiencia.
	0.45	Iniciativa.
<b>Comportamiento</b> (asociado con los atributos esenciales de comportamiento en el trabajo)	0.75	Honestidad.
	0.65	Cuidado personal.
	0.63	Puntualidad.
	0.53	Cooperación.
	0.49	Actitud.
	0.47	Equidad.
<b>Gestión</b> (asociado con la posesión de habilidades de gestión)	0.81	Relaciones con el cliente o el invitado.
	0.73	Liderazgo.
	0.71	Habilidades de comunicación.
	0.62	Relaciones interpersonales.
	0.57	Planeación.
<b>Personalidad</b> (asociado	0.78	Género.

con la naturaleza de la propia persona)	0.77	Edad.
	0.65	Interés.
	0.63	Creatividad.
	0.52	Dependencia.

**Desempeño del proyecto**

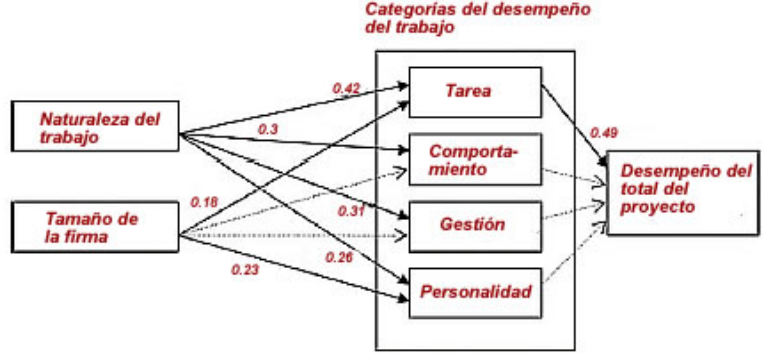
Fueron usados cuatro criterios para el desempeño del proyecto: *costo*, *programación*, *calidad*, y *beneficio*. Se postula que estos criterios miden los resultados finales del proyecto, por lo que propiamente se trata de un desempeño al completar el proyecto. También fue efectuado un análisis factorial exploratorio, con eigenvalores mayores de uno y cubriendo el 63.2% de la varianza común. Con los siguientes factores de carga: 0.86 para el costo, 0.83 para la programación, 0.75 para el beneficio, y 0.73 para la calidad.

**Relación entre ambos desempeños**



**RELACIONES GENERALES**

Para este efecto, fue necesario correlacionar las cuatro categorías del desempeño del trabajo (como variables independientes) con el desempeño total del proyecto (variable dependiente). También se consideraron en la relación algunos aspectos demográficos como: naturaleza del trabajo (gerencial o no gerencial), años de experiencia en el trabajo, tamaño de la firma, género, y edad en el trabajo. El esquema de estas relaciones está en la figura adjunta.



**DIAGRAMA DE RUTA CON RELACIONES SIGNIFICATIVAS Y NO SIGNIFICATIVAS**

Las correlaciones entre los aspectos demográficos y las otras variables, no resultaron significativas excepto para la naturaleza del trabajo y el tamaño de la firma.

También se desarrolló un diagrama de ruta con el resultado del gráfico adjunto. Las líneas de puntos indican relaciones poco significativas.

## Conclusiones

El estudio contribuye en varios aspectos. El primero es el uso de análisis factorial para extraer un número reducido de criterios de naturaleza independiente entre sí, y también para analizar modelos conceptuales. En segundo lugar, contribuye en modelar una relación entre los desempeños de trabajo y del proyecto total.

Los resultados del estudio sugieren que las dimensiones relacionadas con la categoría denominada *tarea* son las más influyentes en el desempeño del proyecto. Entre las variables denominadas demográficas, destacan la contribución de: la naturaleza del trabajo y el tamaño de la firma.

## Exactitud en la estimación de costos

### Referencia

Steven M. Trost (Strategic Solutions, Oklahoma) and Garold D. Oberlender (Oklahoma State University, Oklahoma). *Predicting Accuracy of Early Cost Estimates Using Factor Analysis and Multivariate Regression*. Journal of Construction Engineering and Management. Vol 129, N° 2, April 1, 2003. ASCE, USA.

Los estimados tempranos de costos constituyen un ingrediente importante en las decisiones de negocios y con frecuencia son la base de la asignación de fondos a un proyecto. Sin embargo, a menudo esta importancia no va pareja con la disponibilidad de información al momento de efectuar estos estimados, lo cual afecta directamente la exactitud de los mismos. Tampoco tales estimados son acompañados de información sobre su exactitud. El estudio tiene como propósito establecer una metodología de su evaluación. Para tal efecto, se hizo acopio de información cuantitativa de datos de 67 construcciones ya ejecutadas. La consulta fue formulada según 45 variables presuntamente influyentes en la exactitud, y se utilizó la escala de Likert (de 1 como el mejor, a 5 como el peor) para las respuestas. Con la ayuda del análisis factorial, las variables fueron reducidas a 11 factores ortogonales. Con el uso de regresión multivariable en los 11 factores, se estableció un modelo apropiado para estimar la exactitud. El modelo es propiamente uno de ranking, que permite al equipo del proyecto efectuar tal estimado. También se desarrolló un software para el manejo del modelo y la obtención de esta estimación. Con el análisis multivariable, se identificaron 5 de los 11 factores como los más influyentes. Estos cinco, fueron: diseño básico del proceso, la experiencia del equipo y la información de costos, el tiempo disponible para preparar el estimado, los requerimientos del lugar, y el clima laboral y la licitación.

### Selección de variables

Como variables presuntamente influyentes en la estimación temprana de los costos, el equipo de investigación los presentó agrupados de la siguiente manera, para efectos de la consulta y asignación del puntaje del 1 al 5.

- División 1 *¿Quiénes estaban involucrados en la preparación del estimado?* Con nueve variables, como: nivel de experiencia del propietario, experiencia del ingeniero y diseñador, experiencia del equipo que hizo el estimado, participación del administrador del

proyecto, participación de otras personas, revisión y aceptación de los estimados, nivel de integración del equipo.

- División 2 *¿Cómo fue preparado el estimado?* Con once variables, como: totalidad y aplicabilidad de la información, exactitud y confiabilidad de la información, uso de procedimientos estandarizados, disponibilidad de tiempo para la preparación, disponibilidad de la metodología para el proyecto, estructura y categorización de los costos, contingencias.
- División 3 *¿Qué es conocido acerca del proyecto?* Con catorce variables, como: capacidades, tecnología, procesos, localización, plan piloto, condiciones de fuentes y suministros, medio ambiente, flujos de procesos, equipo, hojas de balance, estrategia, criterios de diseño, programación.
- División 4 *¿Qué factores fueron considerados mientras se preparó el estimado?* Con once variables, como: costos del propietario, impacto del proyecto (según el tipo, contrato y programación), requerimientos públicos, disponibilidad y productividad del trabajo, clima de la licitación, seguros e impuestos, factores logísticos.

### **Análisis factorial**

A partir de los datos de los puntajes, se aplicó un análisis factorial según componentes principales. De esta manera, el número de variables se redujo a 11 factores. Con el método de la varianza máxima, se efectuó una rotación según máxima varianza.

Los 11 factores fueron:

- Factor 1 *Proceso formal de la estimación*. Agrupando 9 variables.
- Factor 2 *Diseño básico del proceso*. Para un grupo de 6 variables.
- Factor 3 *Clima laboral y de la licitación*. Con 5 variables.
- Factor 4 *Requerimientos del lugar*. Para 5 variables.
- Factor 5 *Experiencia del equipo e información de costos*. Agrupando 6 variables.
- Factor 6 *Asuntos monetarios*. Con 4 variables.
- Factor 7 *Asuntos tecnológicos*. Para 3 variables.
- Factor 8 *Revisiones y contingencias*. Con dos variables.
- Factor 9 *Alineamiento del equipo*. Con 3 variables.
- Factor 10 *Tiempo disponible para preparar el estimado*. Una variable.
- Factor 11 *Costos del propietario*. Con una variable.

### **Análisis de regresión y resultados**

El análisis de regresión permitió reducir a 5 los factores relevantes:

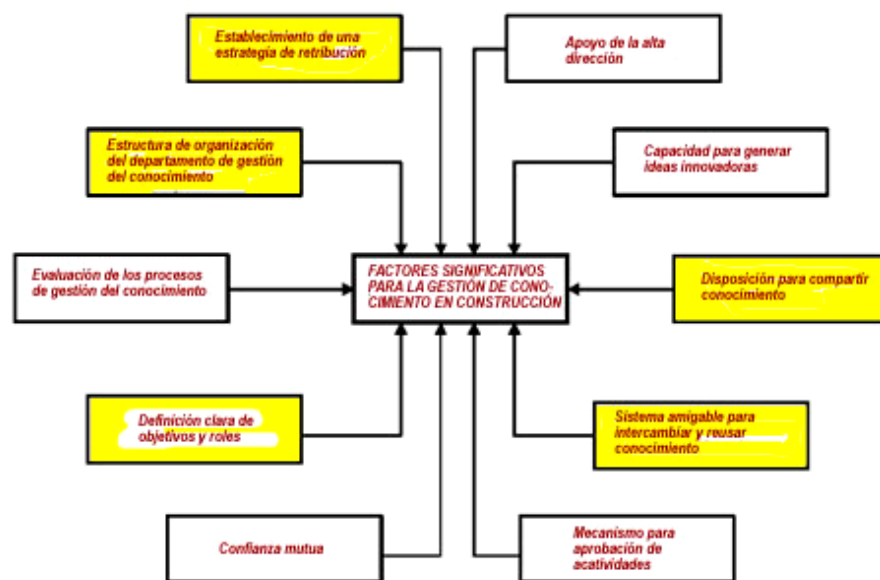
1. Diseño básico del proceso.
2. Experiencia del equipo e información de costos.
3. Tiempo disponible para preparar el estimado.
4. Requerimientos del lugar.
5. Clima laboral y de la licitación.

## Factores críticos en la gestión del conocimiento

### Referencia

Yu-Cheng Lin and Lee-Kuo Lin (National Taipei University of Technology, Taiwan). *Critical Success Factors for Knowledge Management Studies in Construction*. 23<sup>rd</sup> ISCAR, International Symposium on Automation and Robotics in Construction. October 3 to 5, 2006. Tokyo Japan.

El reuso de la información y conocimiento, minimiza la necesidad de referirse explícitamente a proyectos pasados, reduce los tiempos y costos en la solución de problemas, y mejora la calidad de soluciones durante la fase de construcción de un proyecto. Este artículo identifica los *factores críticos exitosos* para implementar la gestión del conocimiento en proyectos de construcción, desde la perspectiva de sus autores en Taiwan. Con el uso de cuestionarios y entrevistas, se recogió la opinión de participantes en empresas con experiencia en la gestión del conocimiento, entre contratistas y subcontratistas, para pensar y evaluar en relación con los factores críticos exitosos en la fase de construcción. La relación entre esta percepción y el total de variables fue estudiada con análisis factorial y regresiones múltiples, lo cual permitió reducir el número de éstos, a un grupo de diez factores.



### FACTORES SIGNIFICATIVOS EN LA GESTIÓN DE CONOCIMIENTO EN CONSTRUCCIÓN

De estos diez, las regresiones múltiples permitieron encontrar los más relevantes: establecer una estrategia de retribución, la disposición de compartir conocimientos, una definición clara de objetivos y roles, un sistema amigable y satisfactorio de intercambio de conocimiento, y una organización bien definida en la gestión del conocimiento.

## Medidas de efectividad de un proyecto de construcción

### Referencia

Roshana Takim and Hamimah Adnan (University Technology MARA, Shah Alam, Malaysia). *Analysis of Effectiveness Measures of Construction Project Success in Malaysia*. Asian Social Science published by Canadian Center of Science and Education. Vol 4, N° 7, July 2008.

Este artículo proporciona un análisis empírico de las medidas de éxito en términos del desempeño efectivo en proyectos de construcción. Los factores de los trabajos revisados provienen de las siguientes medidas de efectividad consideradas en los cuestionarios.

- Satisfacción de clientes y usuarios.
- Nivel de efectividad (alcance de resultados)
- Funcionalidad del proyecto y ajuste de propósitos.
- Libre de defectos.
- Monto de la inversión.
- Rentabilidad.
- Ausencia de reclamos legales
- Aprendizaje.
- Generación de buena reputación.

Para este estudio se llevó adelante una encuesta en Malasia entre promotores de proyectos: del gobierno, clientes privados, consultores y contratistas. Un total de 93 respondieron los cuestionarios completos (de 446 enviados), los mismos que contenían una lista de 30 medidas de éxito. Las respuestas identifican los niveles de éxito de los proyectos de construcción en el país.

Los datos fueron analizados por medio de análisis de varianza y técnicas de análisis factorial por componentes principales.

Las medidas de efectividad encontradas están relacionadas con los resultados del proyecto. Después del análisis de correlación múltiple, resultaron como las más relevantes los siguientes cinco: el aprendizaje, la satisfacción del cliente, los objetivos de los promotores, seguridad operacional, y satisfacción del usuario.